

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KOGENERACE V JEDNOTKÁCH PRO TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ
BIOMASY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR UHMANN

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

KOGENERACE V JEDNOTKÁCH PRO TERMICKÉ ZPRACOVÁNÍ BIOMASY

COGENERATION IN UNITS FOR THERMAL PROCESSING OF BIOMASS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR UHMANN

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN PAVLAS, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Uhmann

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kogenerace v jednotkách pro termické zpracování biomasy

v anglickém jazyce:

Cogeneration in units for thermal processing of biomass

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na základě rešerše literatury popsat technologie pro výrobu elektřiny z procesu termického zpracování biomasy a shrnout legislativní podmínky výroby tzv. "zelené" elektřiny.

Cíle bakalářské práce:

Obecně popsat různé možnosti společné výroby tepla a elektřiny se zaměřením na proces termického zpracování biomasy. Specifikovat použitelné typy kogeneračních zařízení, které lze potenciálně aplikovat v jednotkách pro energetické využití biomasy různých výkonů (malý, střední, velký zdroj).

Seznam odborné literatury:

[1]Loo van S., Koppejan J., Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing, Twente University Press, ISBN 9036517737, (2002)

[2]Obernberger I., Decentralized biomass combustion: state of the art and future development, Biomass and Bioenergy 14, pp. 33 – 56, (1998)

[3]Dvorský E., Hejtmánková P., Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. BEN, Praha (2005)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 20.11.2008

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Předložená práce se zabývá způsoby společné výroby tepla a elektřiny se zaměřením na proces termického zpracování biomasy. Specifikuje použitelné typy kogeneračních zařízení a jejich možnosti aplikace v jednotkách pro energetické využití biomasy různých výkonů.

Klíčová slova

termické zpracování biomasy, spalování biomasy, kogenerace

Abstract

This bachelor's thesis describes the common ways of simultaneous heat and power products with focus on the process of thermal processing of biomass. Specify the applicable types of cogeneration systems and their application possibilities in units for biomass utilization of various capacities.

Keywords

thermal processing of biomass, biomass combustion, cogeneration

Bibliografická citace mé práce

UHMANN, P. *Kogenerace v jednotkách pro termické zpracování biomasy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 24 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Kogenerace v jednotkách pro termické zpracování biomasy vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Martina Pavlase, Ph.D. a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v přiloženém soupisu literatury.

V Brně dne 29.5. 2009

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych na tomto místě poděkoval vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Martinu Pavlasovi, Ph.D. za odborné vedení, věcné připomínky, rady, náměty a podporu při realizaci této bakalářské práce.

Obsah:

1	ÚVOD	7
2	BIOMASA JAKO ZDROJ ENERGIE	8
2.1	DEFINICE BIOMASY	8
2.2	VZNIK BIOMASY	8
2.3	BIOMASA VHODNÁ K ENERGETICKÝM ÚČELŮM.....	11
2.4	ZPŮSOBY VYUŽITÍ BIOMASY K ENERGETICKÝM ÚČELŮM	12
3	KOGENERACE Z BIOMASY.....	13
3.1	TYPY TOPENIŠŤ	14
3.1.1	<i>Spalování v pevném loži - roštové topeniště.....</i>	<i>14</i>
3.1.2	<i>Spalování ve fluidním loži</i>	<i>16</i>
3.1.3	<i>Spalování v práškovém loži.....</i>	<i>17</i>
3.2	TYPY KOGENERACNÍCH SYSTÉMŮ	18
3.2.1	<i>Parní turbíny</i>	<i>19</i>
3.2.2	<i>Parní stroj</i>	<i>19</i>
3.2.3	<i>Šroubový parní stroj.....</i>	<i>20</i>
3.2.4	<i>Parní turbíny pracující s ORC</i>	<i>20</i>
3.2.5	<i>Stirlingův motor</i>	<i>21</i>
3.2.6	<i>Uzavřené plynové turbíny.....</i>	<i>22</i>
4	ZÁVĚR.....	23
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	24

1 Úvod

Pro život na Zemi je zapotřebí různých druhů energií. Pro vyspělé země a moderní společnost jsou jedny z nejdůležitějších energií elektrická energie a teplo. Tyto druhy energií lze vyrábět několika způsoby. Každý má své výhody a nevýhody, avšak v posledních letech se prosazuje výroba z obnovitelných zdrojů energie. Tyto zdroje jsou šetrnější k životnímu prostředí než technologie doposud využívané. Z těchto zdrojů se dostává do popředí biomasa, jakožto zdroj, který lze využívat s konstantními parametry a neproměnlivými vlastnostmi oproti ostatním z obnovitelných zdrojů. Při využívání tohoto zdroje je snaha o maximální využití při přeměně na potřebnou energii a nejvhodnějším způsobem se jeví kogenerace, neboli společná výroba elektrické a tepelné energie.

2 Biomasa jako zdroj energie

2.1 Definice biomasy

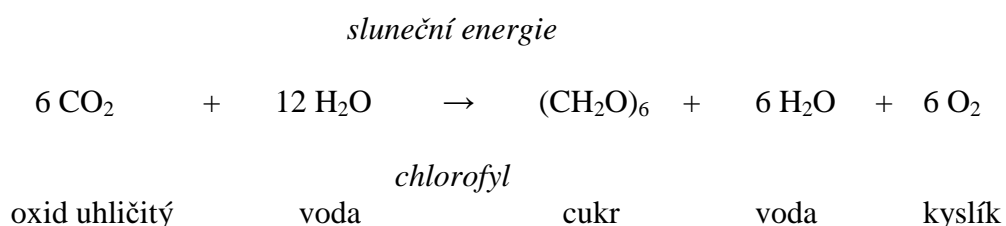
Biomasu lze pro energetické účely definovat jako obnovitelný zdroj energie v podobě organické hmoty rostlinného nebo živočišného původu.

Biomasa pro energetické účely dle zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů) se rozumí: „biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků z provozování zemědělství a hospodaření v lesích a souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část vytríděného průmyslového a komunálního odpadu“ [1].

2.2 Vznik biomasy

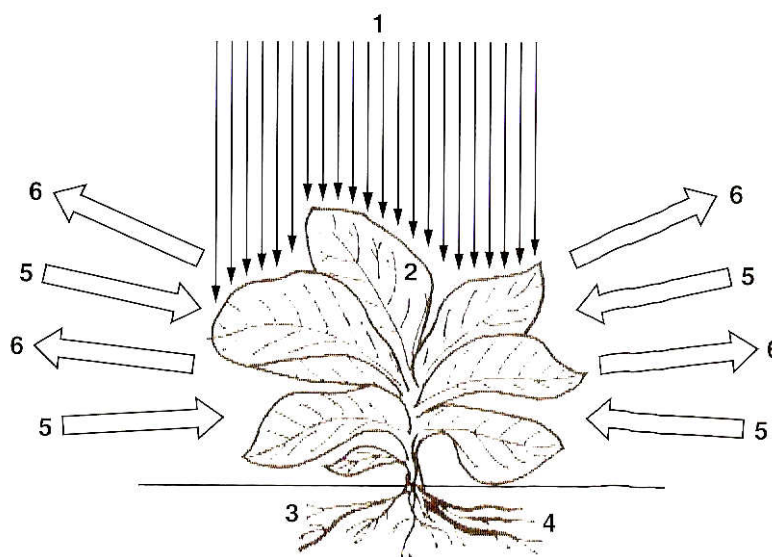
V zemské atmosféře a na zemském povrchu stále dochází k fyzikálnímu a chemickému oběhu prvků a sloučenin. Všechny látky, které jsou součástí oběhu, jsou složeny z chemických prvků. Z prvků nacházejících se v periodické soustavě se mnohé v přírodě nevyskytují (technecium, francium, astat, aktinium), nebo se vyskytují ve velmi malé koncentraci a jejich použití má malý význam (např. prvky vzácných zemin). Významné postavení mají organické sloučeniny, které jsou syntetizované převážně živými organismy pouze z několika prvků: vodíku, kyslíku, uhlíku, dusíku, fosforu a síry, stopové prvky však také mají svůj význam (např. Fe, Cu, K, Na, atd.) [2].

V zachování dynamické rovnováhy v biosféře má nezastupitelnou úlohu „živá biomasa“. Biochemické reakce zabezpečují trvalý oběh biogenních prvků a transformují sluneční energii na chemickou energii, která se využívá jako energetický zdroj pro všechny biochemické procesy. Hlavní úlohu má fotosyntéza a fotochemická reakce. Při fotosyntéze vzniká z oxidu uhličitého a vody za spolupůsobení enzymů, chlorofylu a světelné energie velké množství organických látek. Při fotochemických reakcích se redukuje oxid uhličitý na cukry a voda se oxiduje za vzniku molekulového kyslíku. I když je mechanismus fotosyntézy složitější, je možné tuto biochemickou reakci za účasti světelné energie a chlorofylu schématicky znázornit následovně:



V procesu životní činnosti na Zemi se každoročně oxiduje kolem 100 miliard tun organických látek a přibližně tolik se jich znovu utváří v procesu fotosyntézy. Rostliny kromě spotřeby oxidu uhličitého a minerální výživy a kromě vylučování kyslíku do atmosféry zapojují do biologického oběhu i přibližně 2 mld. t dusíku a 6 mld. t jiných prvků [2].

Fotosyntéza je základní proces v přírodě (obr. 1), který zabezpečuje interakci sluneční energie, vody a oxidu uhličitého za vzniku složitých organických látek. Je to nejdůležitější a svým rozsahem převládající chemická reakce na světě, zdroj kyslíku a chemické energie, bez které by byl život na naší planetě nemožný.



1 - světlo, 2 - chlorofyl, 3 - minerální látky, 4 - voda, 5 - oxid uhličitý, 6 - kyslík

Obr.1 Schematické zobrazení fotosyntézy [2]

Fotosyntetické organismy jsou zdrojem potravy pro nefotosyntetické mikroorganismy a živočichy, které jsou potravou pro člověka. Biogenní prvky se tak dostávají do buněk a tkání, a to především ve formě organických sloučenin se stávají podstatnou složkou výživy organismů, včetně člověka. Po splnění funkce potravy se degradací v procesu mineralizace mění působením nefotosyntetických mikroorganismů na anorganické látky. Tato aktivita mikroorganismů je rozhodující pro oběh látek v biosféře. Všechny prvky na této planetě, které podléhají chemické konverzi, procházejí cyklickými změnami - z formy organické na anorganickou a naopak [2].

Hlavní roli v oběhu látek mají tedy fotosyntetické organismy, fixující atmosférický oxid uhličitý a produkující kyslík. Významnou roli mají též různé anaerobní a aerobní mikroorganismy v půdě a vodě, které rozkládají organické sloučeniny. Z plyných zplodin tohoto rozkladu je nejdůležitější oxid uhličitý, kromě něho vzniká metan, sirovodík, merkaptany, vodík a další produkty, část těchto produktů se mění fotochemickými a jinými reakcemi, část je využívána v půdě a vodě různými mikroorganismy. Mikroorganismy jsou i hlavní složkou regulující rovnováhu v atmosféře. Například

zvýšení parciálního tlaku oxidu uhličitého jako důsledek zvýšené aktivity mikroorganismů má za následek zvýšenou fotosyntézu.

Život na zemi i oběh látek v přírodě jsou podmíněny působením energie slunečního záření. Žádný biologický systém není totiž energeticky nezávislý, ale závisí na příkonu energii mimo sebe (zvenčí) [2].

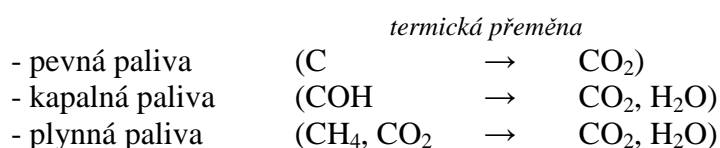
Přírodní ekosystém, jakým je např. les, úplně závisí na zářivé energii Slunce. Na rozdíl od přírodního ekosystému umělý, zemědělský ekosystém získává energii jednak ze slunečního záření a jednak z dodatečné energie, kterou člověk musí vnášet do systému ve formě práce a přímých či nepřímých energetických vstupů. Čerpá ji z fosilních paliv na výrobu hnojiv a z prostředků na chemickou ochranu rostlin, na obrábění půdy, závlahy apod. Rostlinná říše může existovat pouze tehdy, když mění zářící energii Slunce v procesu fotosyntézy na energii chemických vazeb [2].

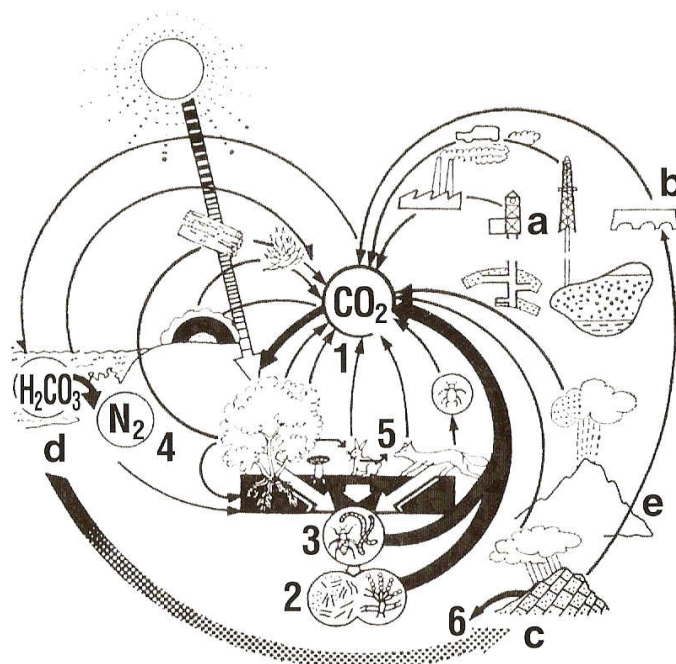
V ekosystému prochází energie potravinovým řetězcem. Prvním článkem tohoto řetězce jsou zelené rostliny (primární producenti), které slouží jako potrava byložravým živočichům (sekundární producenti nebo konzumenti prvního řádu). Byložravci jsou kořistí masožravců (konzumenti prvního řádu). Trofický řetězec uzavírají reducenti, kteří rozkládají odumřelé zbytky rostlin a živočichů až na minerální prvky. Patří sem půdní mikroorganismy, houby, ale i půdní červi a hmyz. Rozložené organické látky zase slouží rostlinám jako výživa [2].

Anorganické sloučeniny uhlíku, jako jsou oxid uhličitý, uhlovodíky a uhličitany, se při fotosyntéze redukují a uhlík se zabuduje do organických sloučenin. Z celkového množství anorganicky vázaného uhlíku na Zemi připadá na oxid uhličitý necelé procento, zbytek připadá na uhličitany. Vzniklé organické sloučeniny se mění opět na oxid uhličitý, a to buď oxidací při hoření a dýchání, nebo biologickou degradací [2].

Oběh uhlíku je úzce spjatý s oběhem kyslíku (obr. 2), především u vyšších organismů. Všechno živé dýchá. Dýchání je vlastně přeměna sloučenin uhlíku a vodíku (které jsou potravou heterotrofních organismů) na oxid uhličitý a vodu. Při tomto procesu se spotřebovává kyslík z ovzduší. Opačný proces probíhá v rostlinách při fotosyntéze. V celosvětovém měřítku jsou tyto procesy zatím v rovnováze: v atmosféře je kolem 21 % kyslíku a asi 0,03 % oxidu uhličitého. Uhlíkovým cyklem prochází ročně asi 10 mld. t uhlíku. Jeho nezastupitelnost je dána těmito skutečnostmi:

- uhlík obsažený v biomase (biopalivech) je vlastně přírodním akumulátorem sluneční energie,
- uhlík obsažený v biopalivech je součástí přírodního uhlovodíkového cyklu,
- energetické využití biomasy je podle převládajícího obsahu biogenních prvků možné přeměnou na:





a - uhelné doly a průmyslová činnost (produkce CO_2), b - výroba vápna termickým rozkladem vápence (produkce CO_2), c - rozpuštění vápence přírodní cestou (splavování do moře), d - korálové útesy (vznik vápence), e - sopečná činnost (produkce CO_2);
1 - dýchání, 2 - rozklad, 3 - mineralizace, 4 - bílkoviny, 5 - humus, 6 - rozpouštění

Obr.2 Oběh uhlíku [2]

2.3 Biomasa vhodná k energetickým účelům

Biomasu vhodnou k energetickým účelům lze rozdělit na :

Biomasa odpadní

- Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby.
- Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob (odpady z potravinářství, jatek, mlékáren, vinařství atd.).
- Odpady z živočišné výroby (kejda, zbytky krmiv atd.).
- Odpady z lesnictví (kůra, větve, pařezy, kořeny atd.).
- Komunální organické odpady.

Biomasa účelně pěstovaná

- Biomasa 1.generace (řepka a palma olejná, cukrová řepa, cukrová třtina a další).
- Biomasa 2.generace (zejména rychle rostoucí dřeviny: topoly, vrby, olše, akáty a další).

2.4 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Termochemickou konverzi (suchý proces, obsah sušiny je větší jak 50 %) představuje:

- pyrolýza,
- zplyňování,
- spalování.

Biochemickou konverzi (mokrý proces, obsah sušiny je menší jak 50 %) představuje:

- alkoholové kvašení,
- metanové kvašení.

Fyzikálně-chemickou konverzi představuje:

- mechanické zpracování (drcení, lisování, briketování, peletování, mletí atd.),
- chemické zpracování (esterifikace bioolejů).

Pyrolýza

Pyrolýza je termický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny za nepřístupu médií obsahujících kyslík. Produkty pyrolýzy jsou hlavně dehet, dřevěné uhlí a nízkomolekulární plyny. Podstatou pyrolýzy je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin. To vede k jejich štěpení až na stále nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Pyrolýzní procesy dělíme dle dosahované teploty na:

- nízkoteplotní ($< 500^{\circ}\text{C}$),
- středněteplotní ($500 - 800^{\circ}\text{C}$),
- vysokoteplotní ($> 800^{\circ}\text{C}$).

Zplyňování

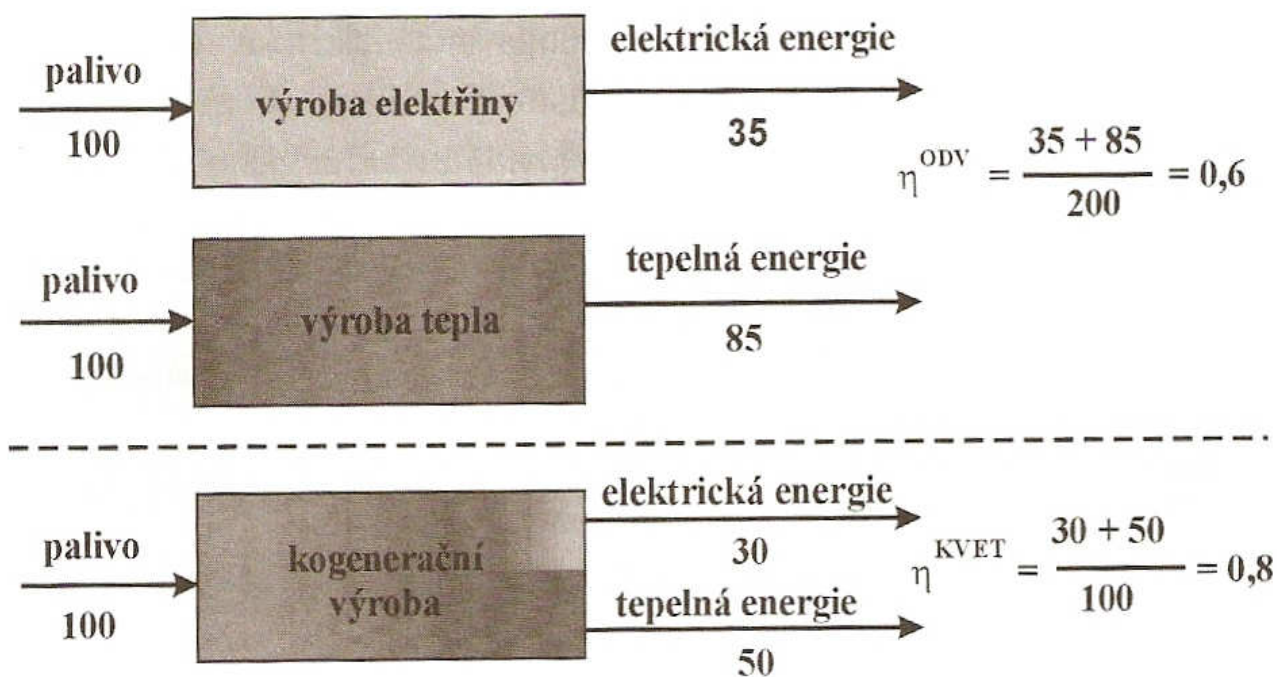
Zplyňování je termochemický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny za přístupu kyslíku v podstechiometrickém množství. Produktem zplyňování je hlavně plyn. Teploty zplyňování jsou mezi 800 až 1100°C . Jako okysličovadla se používají vzduch, O_2 , pára, H_2 a CO_2 podle požadavků na vlastnosti plynu. Při použití vzdušného kyslíku jako okysličovadla má vzniklý surový plyn nízkou výhřevnost (4 až 6 MJ/m^3), při použití čistého kyslíku vzroste výhřevnost plynu (10 až 18 MJ/m^3) [3].

Spalování

Spalování je termický rozklad organických látek za dostatečného množství kyslíku. Při tomto ději se uvolňuje teplo. Sušení, pyrolýza a zplyňování vždy předcházejí procesu spalování při spalování tuhých paliv.

3 Kogenerace z biomasy

Samostatné využívání biomasy jen pro jeden druh energie je málo efektivní. Zefektivnění lze docílit kogenerací neboli společnou výrobou tepelné a elektrické energie při využití jednoho primárního zdroje (obr. 3). Zatím nejvíce prověřeným a zdokonaleným způsobem využití tuhé biomasy pro účely kogenerace využívaný v praxi je spalování. Spalování nevyžaduje náročnou předchozí úpravu biomasy (přijatelná i vyšší vlhkost). Účinnost spalovacího procesu je závislá na kvalitě paliva (zpracování, vlhkosti atd.). Při kogeneraci je velmi důležitým faktorem účinnost, která se odvíjí od výkonu spalovací jednotky a použitého kogeneračního systému, proto je velmi důležité provedení spalovací komory a kogeneračního systému.



Obr.3 Zefektivnění při použití kogenerace [4]

3.1 Typy topenišť

Spalování tuhé biomasy se skládá z těchto procesů:

- vysoušení a odpařování vody z paliva,
- uvolňování plynné složky paliva (pyrolýza),
- spalování plynné složky paliva,
- spalování pevných látek (zvláště uhlíku).

Spalování je specifické tím, že plynné látky uvolňované pyrolýzou nehoří na roštu, ale ve vzhledu v nadroštové části spalovací komory (tzv. dlouhý plamen). Z tohoto důvodu vyplývají požadavky pro konstrukci topenišť:

- přívod kyslíku pod rošt nutný pro oxidaci pevných zbytků paliva na roštu (primární vzduch),
- přívod kyslíku nad rošt nutný pro mísení s unikajícími plyny (sekundární vzduch, terciální vzduch),
- nutnost prostoru nad roštem udržujícího žár (promísený vzduch s plyny se zde udržuje na zápalné teplotě).

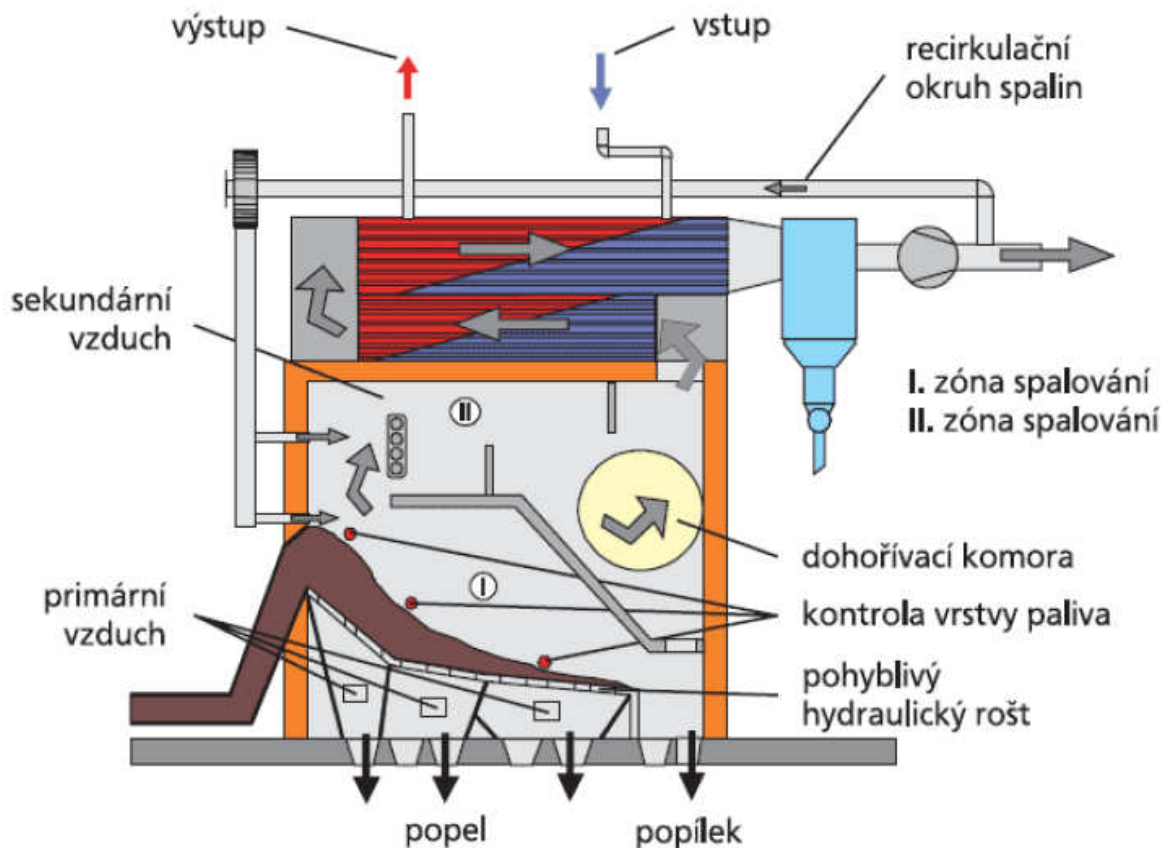
Z důvodů finančních nákladů jsou pro kogeneraci vhodné zařízení přesahující tepelný výkon 100 kW. Tyto zařízení se skládají z automatizovaného procesu spalování a podávání paliva a nejčastěji se vyskytují v decentralizovaných systémech. Z konstrukčního hlediska rozdělujeme topeniště obsahující:

- pevné lože,
- fluidní lože,
- práškové lože.

3.1.1 Spalování v pevném loži - roštové topeniště

Roštové topeniště (obr. 4) je určeno pro zařízení menších výkonů v rozsahu 100 kW až 10 MW. Je vhodné pro palivo s větší vlhkostí, větším obsahem popela a pro paliva s rozdílnou velikostí částic. Není vhodné pro nehomogenní složení paliva z důvodu rozdílných spalovacích vlastností (rozdílné vlhkosti, body tavení atd.). Důležitými faktory jsou stejnoměrné dodávání primárního vzduchu přicházející pod rošt a oddělení zplyňovacího prostoru od prostoru spalovacího, kde vstupuje sekundární vzduch a dochází

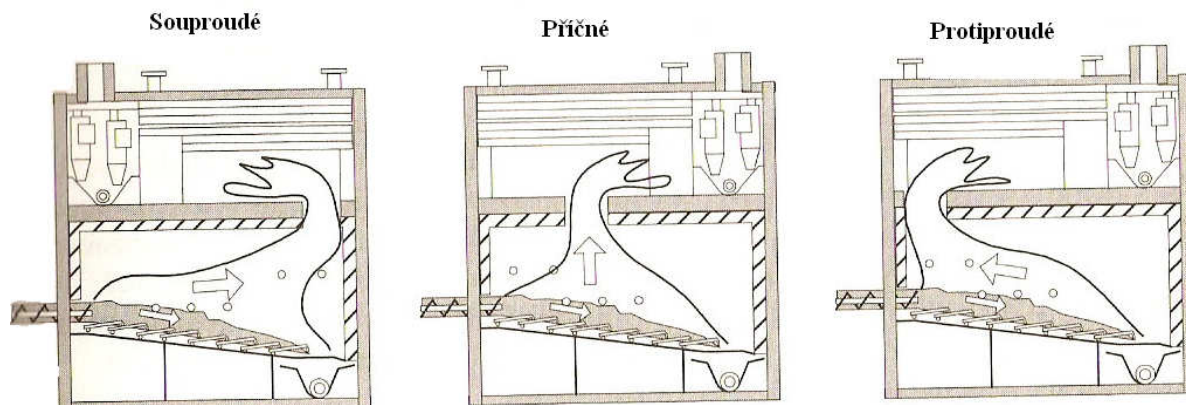
k oxidaci a hoření, z důvodu efektivního spalování. Podle typu pohybu rozdělujeme rošty na pevné rošty, pohyblivé rošty, pásové rošty, vibrující rošty a rotační rošty.



Obr.4 Spalování v pevném loži [5,10]

Podle směru pohybu paliva a směru proudění spalin dělíme spalování v roštových topeništích na:

- protiproudé – vhodné pro palivo s nízkou výhřevností (vlhká kůra, dřevní štěpka, piliny). Je nutné dobré promísení spalin a sekundárního vzduchu ve spalovací komoře, aby se zabránilo zvýšení emisí.
- souproudé – vhodné pro suché palivo (dřevní odpad a slámu) anebo zařízení, kde se používá předehřátého primárního vzduchu. Tento systém zvyšuje dobu pro dokonalé zplyňování a tím snížení oxidů dusíku.
- příčné – kombinuje protiproudé a souproudé spalování. Je aplikováno v zařízeních s vertikální sekundární spalovací komorou.



Obr.5 Rozdělení podle pohybu paliva a proudění spalin [6,7]

3.1.2 Spalování ve fluidním loži

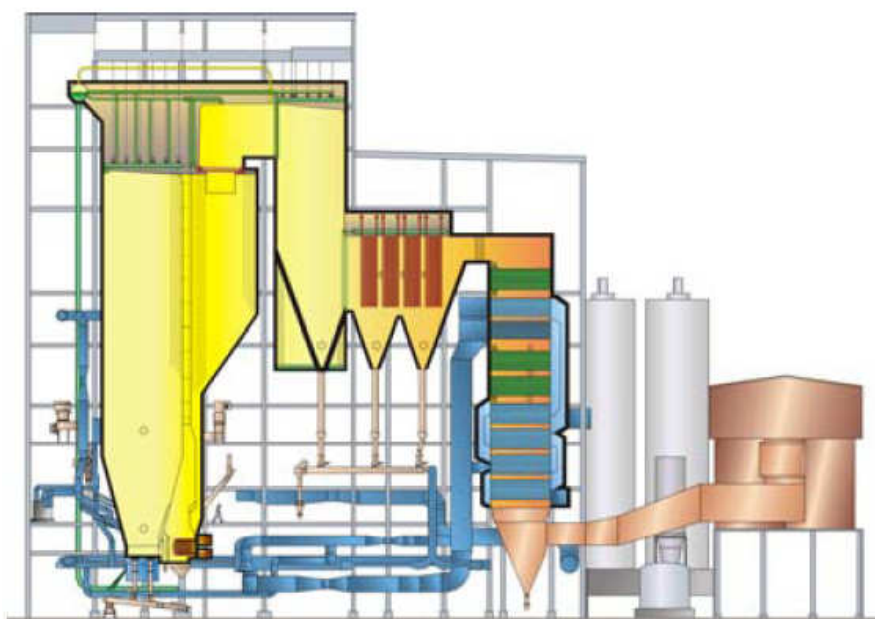
Spalování ve fluidním loži je vhodné pro zařízení v rozsahu výkonů od 10 MW do 100 MW. Technologie spalování je založena na spalování paliva ve vznosu zespod přiváděným vzduchem, v tzv. fluidním loži. Ke spalování dochází v komoře ve tvaru válcové nádoby, v které jsou na dně umístěny trysky vhánějící potřebný vzduch pro mísení paliva a suspenze v podobě písku. Rovnoměrnost hoření umožňuje dokonalejší vyhoření paliva při nižší teplotě spalování v rozmezí mezi 700 až 900 °C, to vede ke snížení emisí oxidů dusíku a ekologicky nevhodných sloučenin obsažených v popílku. Tato technologie je vhodná pro paliva různých typů, avšak podmínkou je konstantní velikost paliva. Nevýhodou této technologie je dlouhé najíždění na provozní stav (více jak 15 hodin). Spalování ve fluidním loži lze rozdělit dle rychlosti vzduchu vstupujícího do topeniště a velikosti částic písku v loži na *bublinkové fluidní lože* (BFB – bubbling fluidised bed) a *cirkulující fluidní lože* (CFB – circulating fluidised bed) [6].

Bublinkové fluidní lože

V BFB topeništi se používá suspenze o rozměrech částic písku okolo 1 mm v průměru a toto lože je umístěno ve spodní části topeniště. Primární vzduch je dodáván skrze trysky, které prochází dnem topeniště, rychlost vstupujícího vzduchu je v rozmezí od 1 do 2,5 m/s. Sekundární vzduch je přiveden prostřednictvím několika otvorů, které jsou formovány do skupiny trysek umístěných horizontálně v počátku vrchní části topeniště, nazývané „freebord“. Tento přívod zaručuje rovnoměrné dodávky vzduchu snižující oxidy dusíku. Palivo je přiváděno přímo do fluidní vrstvy oproti BFB topeništi na uhlí, kde je uhlí přiváděno na fluidní vrstvu. Je to v důsledku vyšší reaktivity biopaliva. Výhodou BFB topenišť je možnost přivedení paliva o různé velikosti, vlhkosti a složení nebo spoluspalování s jiným palivem. Nevýhodou je ztráta fluidního písku s popelem, vysoký obsah prachu ve spalinách, vysoké pořizovací náklady na tuto technologii do výkonu 20 MW.

Cirkulující fluidní lože

V CFB topeništích se využívá větších rychlostí vstupujícího vzduchu oproti BFB v rozmezí od 5 do 10 m/s. Doporučená velikost částic písku je od 0,2 do 0,4 mm v průměru. Částice písku jsou součástí odcházejících spalín z topenišť a jsou oddělovány v cyklonu a vráceny zpět do spalovací komory. Teplotu lože řídí vnější výměník, který chladí cirkulující částice písku. Vlivem turbulencí a cirkulace oproti BFB dochází k lepším vlastnostem spalování a homogenitě lože. Nevýhodou CFB topenišť je jejich velikost a pořizovací cena, proto se tato technologie uplatňuje u výkonů vyšších jak 30 MW.



Obr.6 CFB topeniště [8]

3.1.3 Spalování v práškovém loži

Tento systém spalování je používán u zařízení v rozmezí výkonů od 1 do 50 MW. Při tomto typu spalování je palivo dopravováno do topeniště pneumaticky a vzduch vhánějící palivo do komory je zároveň i vzduchem primárním. Najíždění se provádí pomocnými hořáky, které pomáhají zapalovat první dávky paliva. Když je dosaženo optimálních spalovacích teplot, jsou hořáky odstaveny a celý proces spalování probíhá bez nich. U tohoto typu spalování je kladen důraz na kvalitu a konstantní vlastnosti paliva. Velmi důležité jsou dva faktory. Prvním je rozměr paliva, které by mělo být ve formě dřevní štěpky v rozmezí velikosti od 10 do 20 mm. Druhým je obsah vody v palivu, který by neměl přesáhnout 20 %. Palivo je většinou vpravováno tangenciálně do topeniště ve tvaru válce. Proud vzduchu a paliva vytváří rotační a vířivý pohyb. Tento pohyb může být ještě podporován recirkulujícími spaliny. Ke zplyňování a zuhelnatění paliva dochází ve

stejném okamžiku vzhledem k malým rozměrům, což zefektivňuje celý proces spalování. Další výhodou jsou nízké hodnoty oxidů dusíku způsobené rotujícím pohybem vzduchu a paliva. Z důvodů vysokých teplot a vysoké energie rotujících plynů jsou velmi namáhány stěny topeniště, což patří k nevýhodám stejně tak, jako je kladen důraz na velikost částic paliva. Proto se tyto typy topenišť uplatňují v dřevozpracujících výrobnách.

3.2 Typy kogeneračních systémů

Výroba elektrické energie za použití spalování je uskutečněna nepřímo pomocí tepelného zdroje, ve kterém dochází k uvolnění tepelné energie obsažené v palivu a kogeneračního systému, který umožňuje přeměnu tepla na mechanickou energii, která je následně využita na výrobu elektrické energie. Přenos tepla mezi tepelným zdrojem a kogeneračním systémem lze rozdělit na přenos s *otevřeným tepelným oběhem* nebo *uzavřeným tepelným oběhem* [6].

Otevřený tepelný oběh – je tepelný oběh, ve kterém je pracovní látkou vzdušina a primární palivo je většinou kapalného či plynného původu. Toto palivo je spalováno přímo ve stroji (vnitřní spalování), který koná práci na výrobu elektrické energie (např. spalovací motory) anebo je spalováno ve spalovací komoře a následně jsou spaliny přivedeny na stroj, který přemění teplo ve spalínách na mechanickou energii (např. plynové turbíny).

Uzavřený tepelný oběh – je tepelný oběh, u kterého je spalovací prostor a primární jednotka oddělena a přenos tepla mezi spalovacím prostorem a kogeneračním systémem uskutečněn pomocí média (vnější spalování). Toto médium je většinou voda, u které dochází ke změně skupenství (plynná a kapalná fáze).

Při spalování biomasy v podobě tuhé fáze, jsou součástí spalin nečistoty (např. poléťavý popílek, částice obsahující kovy či chlór), které by mohly poškodit části kogeneračního systému, z těchto důvodů většina kogeneračních systémů pracuje s uzavřeným tepelným oběhem (vnější spalování), u kterého nehrozí poškození částí stroje.

Kogenerační systémy používané při spalování tuhé biomasy:

- parní turbíny,
- parní stroje,
- šroubový parní stroj,
- parní turbíny pracující s ORC (organický Rankinův cyklus),
- Stirlingův motor,
- uzavřené plynové turbíny.

3.2.1 Parní turbíny

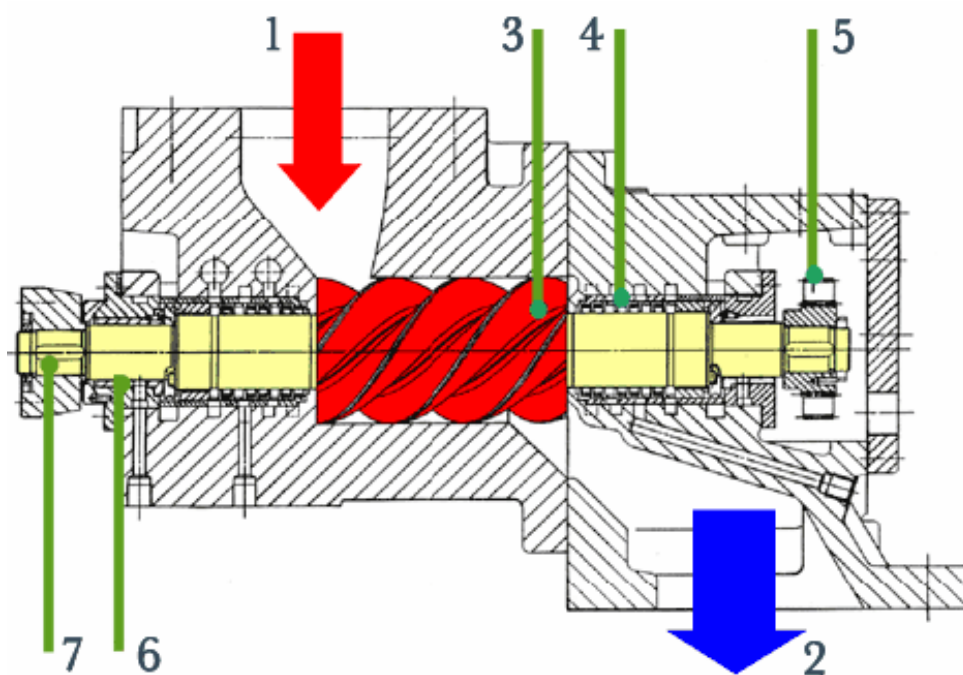
Klasický parní Rankin-Clausiusův cyklus je nejvyžívanější systém v tepelných elektrárnách a elektrárnách s kombinovanou výrobou. Tepelná energie uvolněná v kotli se předá přes parní generátor pracovní látce (vodě), která je pod vysokým tlakem do tohoto generátoru vháněna čerpadlem. V generátoru dojde ke změně skupenství na páru. Tato pára pak expanduje v turbíně, čímž se získává technická práce. Největší výhodou parních turbín je jejich rozvinutá technologie a aplikace z dlouholetého používání těchto strojů. Parní turbíny dosahují největších výkonů v rozmezí 0,5 až 500 MW a jsou nasazovány ve středních a velkých systémech. Při výkonech 5 až 500 MW jsou provozovány jako kondenzační. U kondenzačních turbín je kondenzační teplo z oběhu odváděno při teplotě okolí, a tím je dosažena nízká hodnota výstupního tlaku z turbíny. V důsledku nízké teploty se však odváděné teplo nedá užitečně využít. Dosahuje se tak maximální výroba elektrická energie na úkor tepelné energie. Při potřebě využít teplo se zavádí regulovaný odběr. Odběr páry probíhá v průběhu její expanze v turbíně nebo přímo na výstupu z parního generátoru. Při výkonech od 0,5 až 5 MW jsou používány turbíny protitlaké, tyto turbíny se používají hlavně při výrobě tepelné energie. Veškeré teplo z parogenerátoru přejde přes turbínu a to je dále odebíráno k dalšímu použití. Čím vyšší jsou požadavky na teplotu tepelného odběru, tím vyšší musí být výstupní teplota z turbíny a tím se snižuje účinnost přeměny na elektrickou energii. Nejlepší vlastnosti pro kogeneraci a hodnoty účinnosti jsou dosahovány kombinací obou typu turbín. U systémů s tepelným výkonem do 10 MW je možné použít jednostupňovou protitlakou turbínu. Pro vyšší výkony je vhodné použít vysokootáčkových axiálních turbín s integrovanou převodovkou nebo s vysokofrekvenčním elektrickým generátorem. Z ekonomického hlediska je vhodnější dávat přednost dražším turbínám s vyšší účinností, které zabezpečí vyšší poměr vyrobené elektřiny a tepla.

3.2.2 Parní stroj

Elektrický výkon parních strojů se pohybuje v rozmezí 50 až 1200 kW. Parní stroj je nejstarší tepelný stroj. Pracuje v klasickém parním cyklu, a tudíž ho lze aplikovat do systémů s parním kotlem na biomasu s vhodnými parametry páry, kde by technicky nebylo možné aplikovat nebo se finančně nevyplatila parní turbína. Při malých jednotkových výkonech v řádech stovek kilowattů má dokonce lepší vlastnosti než turbíny (např. termodynamickou účinnost). Parní stroj pracuje s párou o nízkých tlacích 0,6 až 6 MPa. Elektrická účinnost se odvíjí od toho zdali se jedná o jednostupňový (6 až 10 %) nebo vícestupňový (10 až 20 %) stroj. V dřívějších dobách byl problém se znečištěním výstupní páry olejem a následným čištěním páry. V dnešní době je již tento problém vyřešen. Výhodou parních strojů oproti turbínám je, že mohou pracovat i s mokrou párou do vlhkosti 12 %. Další výhodou je dlouhá životnost. Jednou z nevýhod jsou malé výkony a vysoká hlučnost a vibrace způsobené otáčkami pohybujícími se mezi 750 až 1500 ot/min.

3.2.3 Šroubový parní stroj

Šroubový parní stroj pracuje na stejném principu jako šroubový kompresor, který využívá do sebe zapadající protiběžné šroubové rotory. Místo komprese vzduchu dochází ve stroji k expanzi páry. Výhoda těchto strojů oproti klasickým parním strojům je, že má uzavřený olejový cyklus, čímž nedochází ke znečištění odchozí páry jako u klasických parních strojů. Další výhodou těchto strojů je použití páry s rozdílnými parametry od přehřáté až po sytou kapalinu. Tím se tento stroj dostává do popředí a může být aplikován v malých zařízeních se společnou výrobou tepla a elektřiny, kde není potřeba kotel na vysokoparametrovou páru. Prozatím jsou tyto stroje ve vývoji a zkušebním provozu. V důsledku toho, že jsou stroje málo citlivé na výkyvy v kvalitativních parametrech páry, mohou pracovat v širokém rozsahu výkonů a mohou být využívány v kogeneračních soustrojích o výkonech 200 až 1500 kW.



1 - vstup páry, 2 - výstup páry, 3 - rotor, 4 - ucpávky, 5 - synchronizační převod, 6 - třecí ložisko, 7 - výstupní hřídel

Obr.7 Princip šroubového parního stroje [9]

3.2.4 Parní turbíny pracující s ORC

Parní turbíny pracující s organickým Rankinovým cyklem pracují na stejném principu jako parní turbíny s Rankin -Clausiovým cyklem, avšak místo vody, jakožto pracovní

látky, se používá směs organických sloučenin (např. silikonový olej, isopentan, toluen). Tyto látky pracují v relativně nízkých teplotách (70 až 300° C). Výhodou těchto látek je, že se udrží i při nízkých teplotách v kapalném stavu při značně nižším tlaku než voda. Pracovní cyklus je takový, že se v kotli ohřeje olej, který následně ve výparníku předá teplo pracovní látce sekundárního okruhu. Zde se pracovní organická látka vypařuje, dosahuje většího tlaku než má olej a vzniklá sytá pára organických sloučenin je vedena na axiální parní turbínu, kde expanduje. Pára je za turbínou vedena do kondenzátoru, kde kondenzuje po odebrání výparného tepla chladicí vodou, která pak dodává teplo k dalšímu využití. Z kondenzátoru je náplň ORC dopravována čerpadlem přes regenerátor zpět do výparníku.

Výhodou těchto systémů je vysoká celková účinnost, která se pohybuje okolo 85%. Vzhledem k teplotám, v kterých pracuje celý ORC systém, je možné využívat pouze nízkopotenciální teplo. Tento fakt předurčuje systémy s ORC pro centrální zásobování teplem a elektrickou energií. Elektrické výkony se pohybují v rozmezí 0,1 až 10 MW.

3.2.5 Stirlingův motor

Stirlingův motor je pístový motor pracující s uzavřenou pracovní látkou, kterou může být vzduch, helium, dusík nebo CO₂. Pracovní látka prochází dvěma pracovními prostory. V jednom je stlačována (kompresní prostor – studený válec) a ve druhém expanduje (expanzní prostor – horký válec). Teplo se pracovní látce dodává z vnějšího zdroje přes ohřívák. Teplo, které není přeměněno na technickou práci hřídele, je odváděno pomocí chladiče. Mezi chladičem a ohřívákem se nachází regenerátor, který umožňuje přenos plynu z horkého válce do studeného a naopak.

V posledních letech se ukázala možnost jeho použití pro stacionární účely a to zejména při kogenerační výrobě elektřiny a tepla v malých jednotkách o výkonech řádově jednotek až desítek kW při využití biomasy až 1000 kW. Moderní Stirlingův motor se vyznačuje dobrou účinností, spolehlivostí, tichým chodem a nižšími emisemi. Hlavní výhodou je skutečnost, že tento motor může pracovat s nejrůznějšími zdroji tepla počínaje sluneční energií a konče libovolným fosilním palivem a biomasou. Nevýhodou je špatná regulovatelnost a malá pohotovost k provozu. Potřebuje také poměrně velký chladič s výkonným ventilátorem a pro dosažení vysoké účinnosti musí pracovat s vysokými tlaky plynu. Elektrická účinnost kogeneračních jednotek se Stirlingovým motorem se pohybuje v rozpětí 25 až 33 %, což je účinnost u motorů o výkonu 1 až 50 kW velmi dobrá. Využití biomasy v kombinaci se Stirlingovým motorem je velmi perspektivní. Vzhledem k tomu, že spaliny nepřicházejí do styku s pohyblivými částmi motoru, nehrozí nebezpečí zadehtování v případě použití plynu získaného zplyněním biopaliv v generátoru s pevným ložem. Bez komplikovaného čištění surového plynu proto mohou být použity zplyňovací generátory tohoto typu v malých kompaktních kogeneračních jednotkách [9].

3.2.6 Uzavřené plynové turbíny

Princip uzavřené plynové turbíny je stejný jako při otevřeném cyklu s plynovými turbínami s tím rozdílem, že teplo není dodáváno do stlačeného plynu vnitřním spalováním, ale vnějším vysokoteplotním výměníkem tepla. Stejně jako u otevřených plynových turbín je mechanická energie produkována turbínou. Plynová turbína v uzavřeném cyklu využívající horkého plynového cyklu s turbínou jako expanzním zařízením může pracovat ve dvou odlišných uspořádáních:

- kompletně uzavřený sekundární oběh (obdoba Stirlingova motoru) využívající vzduch, helium, dusík jako pracovní medium nebo
- pomocí přenosu tepla na stlačený vzduch, který expanduje v plynové turbíně a poté přiveden do kotle jako spalovací vzduch.

Vzhledem k vysokým teplotám, které jsou zapotřebí pro výměník a tím pádem náročnosti a nákladnosti na systém, se nepředpokládá využívání této technologie v praxi [1].

4 Závěr

V posledních letech stoupá rapidně poptávka po elektrické energii v důsledku masové spotřeby. Jedním z možných řešení je výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Toto řešení je v dnešní době velmi žádané a potřebné hlavně z důvodů ochrany přírody a zemského klimatu. Při výrobě elektrické energie je u nás vzhledem k poloze České republiky prosazována biomasa, jakožto jeden ze zástupců obnovitelných zdrojů. Jeden z možných způsobů využití biomasy je i termické zpracování biomasy.

V práci byl uveden popis zařízení, v kterých lze spalovat tuhou biomasu, a typy zařízení, které lze potenciálně aplikovat v těchto zařízeních pro výrobu elektrické energie. Práce popisuje zařízení od malých výkonů, které lze uplatnit pro lokální vytápění a výrobu elektrické energie, až po stroje velkých výkonů instalovaných v systémech centrálního zásobování teplem a elektrickou energií.

5 Seznam použité literatury:

- [1] Zákon č.180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákon (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů)
[online].[cit. 2009-04-09] Dostupné z :
<http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=180/2005>
- [2] Pastorek Z., Kára J., Jevič P., Biomasa obnovitelný zdroj energie. FCC Public, ISBN 80-86534-06-5, 2004
- [3] MOTLÍK, Jan, VÁŇA, Jaroslav: Biomasa pro energii (2) Technologie. *Biom.cz*
[online]. 2002-02-06 [cit. 2009-05-06]. Dostupné z WWW:
<<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-2-technologie>>. ISSN: 1801-2655>
- [4] Dvorský E., Hejtmánková P., Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. BEN, Praha (2005)
- [5] Obernberger I., Decentralized biomass combustion: state of the art and future development, *Biomass and Bioenergy* 14, pp. 33 – 56, (1998)
- [6] Loo van S., Koppejan J., Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing, Twente University Press, ISBN 9036517737, (2002)
- [7] NUSSBAUMER,T. & GOOD, J., 1995: Projektorem automatischer Holzfeuerungen, Bundesamnt für Konjunkturfragen (ed.), Bern, Switzerland
- [8] Hiltunen, Maty. Combustion of Different Types of Biomass Fuels in CFB Boilers
[online]. Vydáno: 2-6.6.2008 [citováno 2009-06-25]. Dostupné z:
<http://www.fwc.com/publications/tech_papers/files/TP_CFB_08_05.pdf?DIRNAME=about>
- [9] Jakubes J., Bellingová H., Šváb M., Moderní využití biomasy-technologické a logistické možnosti [online]. Vydáno: 2006 [citováno 2009-06-25]. Dostupné z:
<<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>>
- [10] Ing.Baláš, Marek. Energetické využití biomasy v zásobování teplem[online]. Vydáno: 27.5.2008 [citováno 2009-06-25]. Dostupné z:
<<http://oei.fme.vutbr.cz/teplarenstvi/papers/balas/energ-vyuz-biomasy.pdf>>